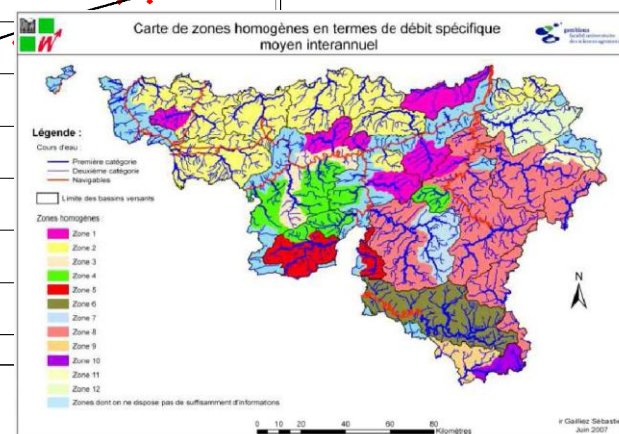
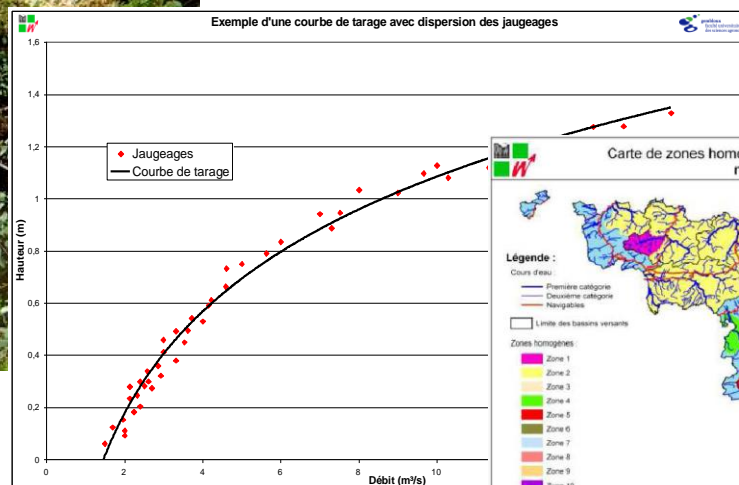
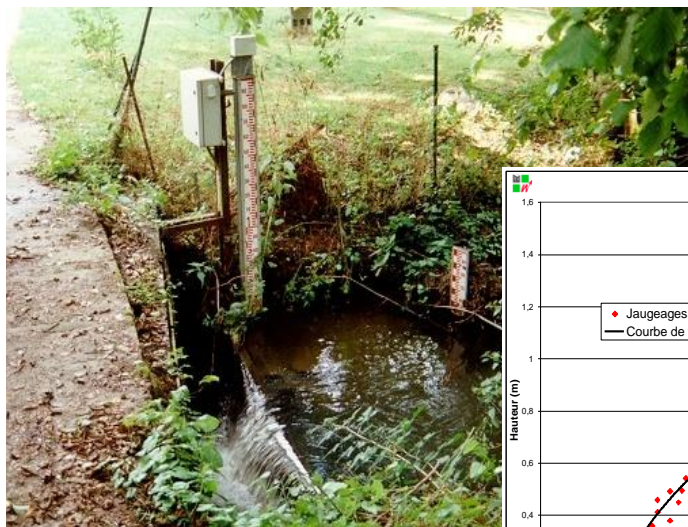


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

Régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne 24 avril 2012



ir Sébastien Gailliez

Service public de Wallonie, DGARNE,
Direction des Cours d'Eau non navigables
Systèmes SOL - EAU
Gembloux – Agro-Bio Tech (Ulg)

Ir Maud Grandry

Ir Arnaud Verstraete

Dr Aurore Degré

Systèmes SOL - EAU
Gembloux – Agro-Bio Tech (Ulg)



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

Plan de l'exposé :

1. Introduction
2. Matériel et méthodes
3. Sélection des stations de mesure
4. Analyse fréquentielle des débits d'étiage
5. Régionalisation des débits d'étiage
6. Régression
7. Utilisation des résultats
8. Conclusions



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

1. Introduction

Contexte : Augmentation du nombre de demandes reçues par l'administration de la Région wallonne liées :

- aux rejets d'eaux usées,
- aux autorisations pour l'installation de centrales hydro-électriques,
- aux prélèvements d'eau souterraine par les producteurs d'eau potable,
- ...

==> une thèse de doctorat sur le thème de l'étiage initiée en septembre 2008 par la Faculté des Sciences agronomiques et Ingénierie biologique de Gembloux de l'Ulg.

Objectifs : - La connaissance spatio-temporelle de l'hydrologie des rivières en période de sécheresse sur base du réseau de mesure hydrologique existant.
- Déterminer en n'importe quel point du linéaire d'un cours d'eau, un débit caractérisant l'étiage.

Orientation de la recherche : Régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne.



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

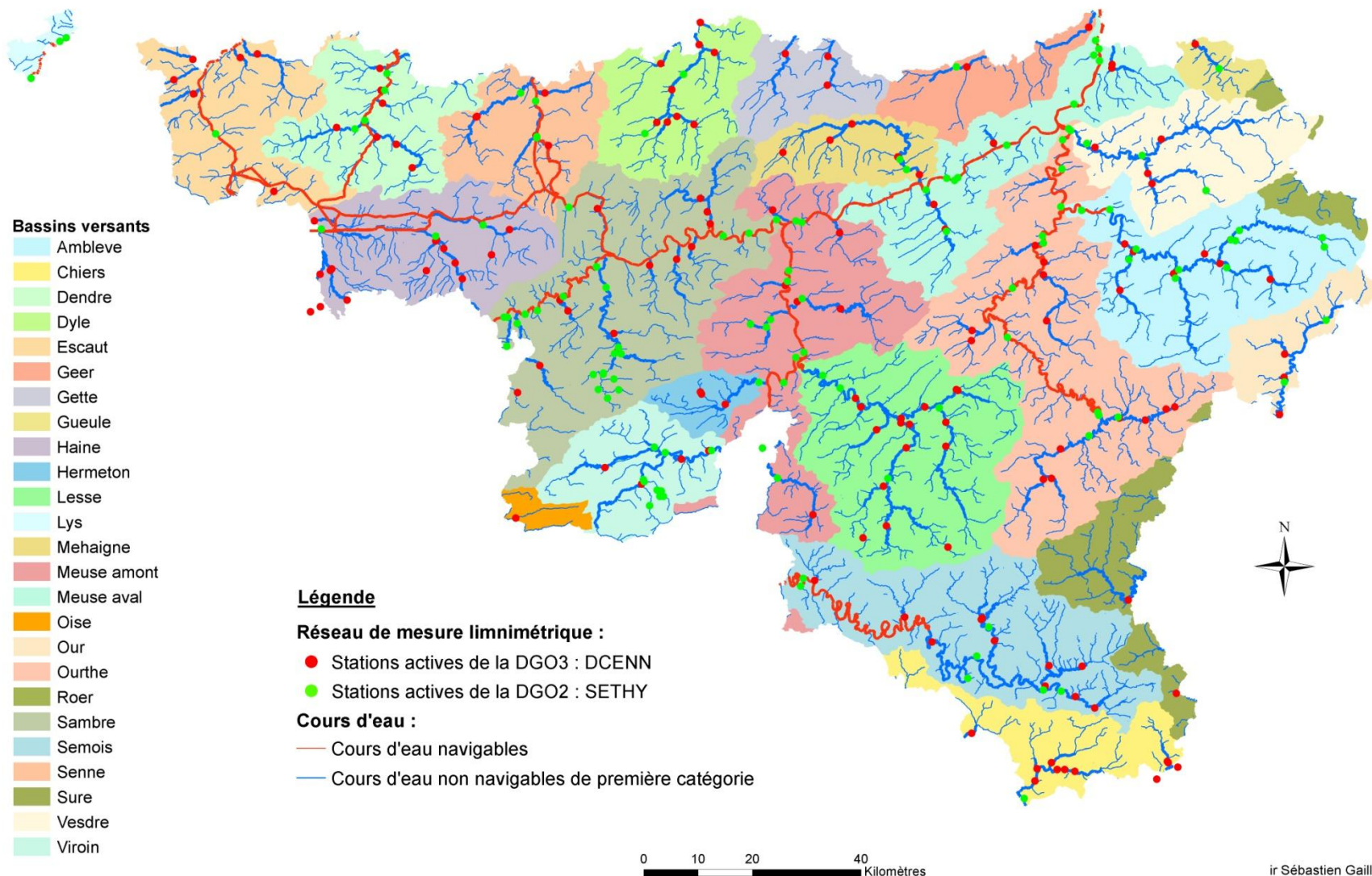
2. Matériel et méthode

2.1. Source des données

- Réseau de mesure appartenant à la Direction générale Agriculture, Ressources naturelles et Environnement et plus particulièrement à la Direction des Cours d'Eau non navigables : 167 stations de mesure
- Réseau de mesure appartenant à la Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques et plus particulièrement au Service d'Etudes hydrologiques : 77 stations de mesure
- **244 stations de mesure potentielles dont les premières ont été installées au début des années 1960**

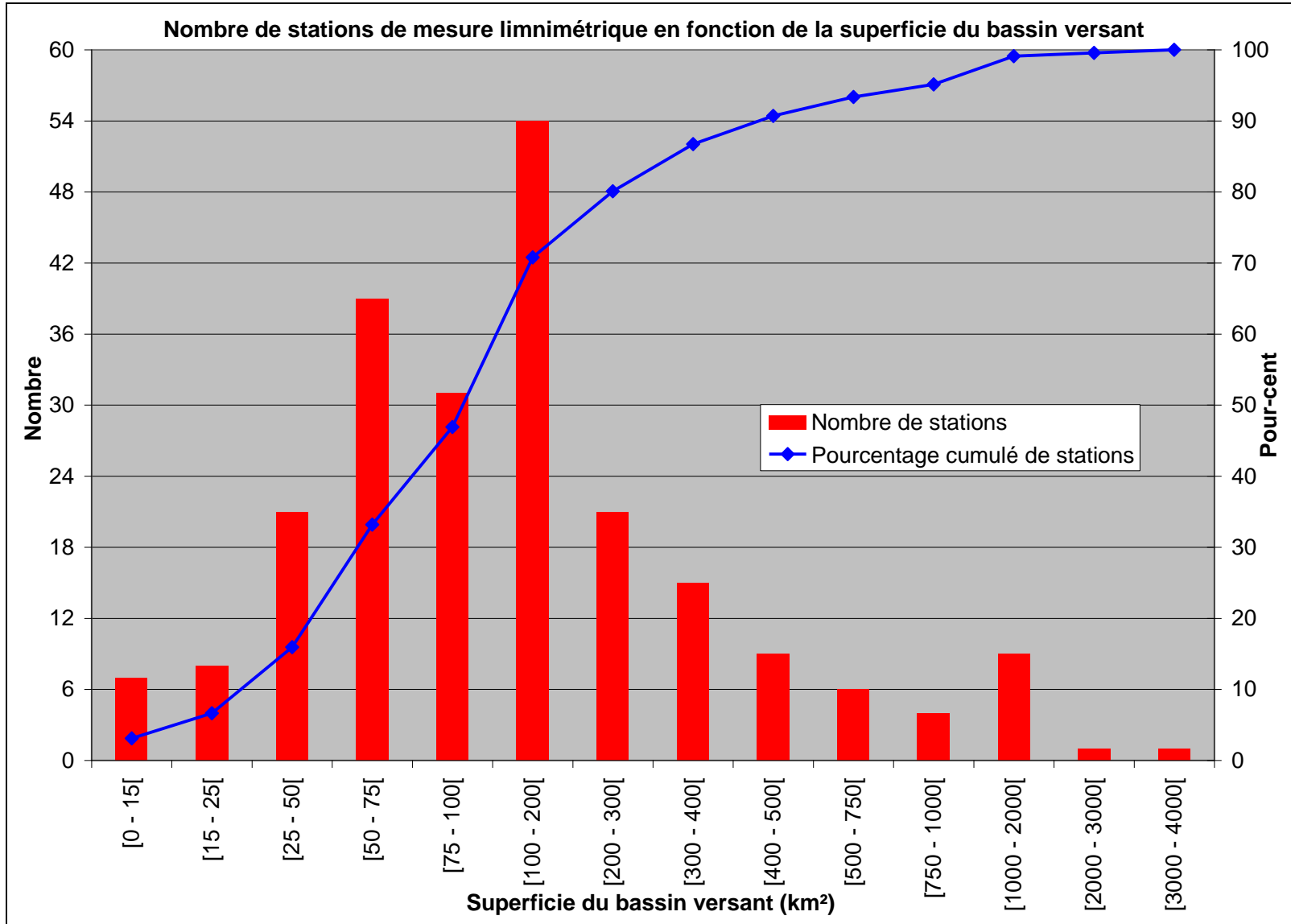
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

Réseaux de mesure limnimétrique de la Région wallonne



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

==> 70 % des stations de mesure ont une superficie de bassin versant inférieure à 200 km².



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

2.2. Choix du paramètre caractérisant l'étiage

Deux éléments caractérisent l'étiage : le débit et la durée.

Les différents paramètres rencontrés dans la littérature sont :

Paramètre(s) pris en considération	
Débit	Débit, durée
Débit journalier minimum annuel (Galéa, 1999)	Minimum annuel de la moyenne mobile sur n jours des débits journaliers
Débit journalier minimum minimorum	QMNA5 : débit mensuel d'étiage de période de retour 5 ans
	Q _{7,10} : minimum annuel lissé sur 7 jours consécutifs de période de retour 10 ans (Hamza, 1999)
	Q95 : débit atteint ou dépassé 95 % du temps (Chalize, 2003)
	DCE : débit atteint ou dépassé 355 jours par an

Notre choix s'est porté sur le Q95 car il permet, notamment, de s'affranchir de l'influence liée :

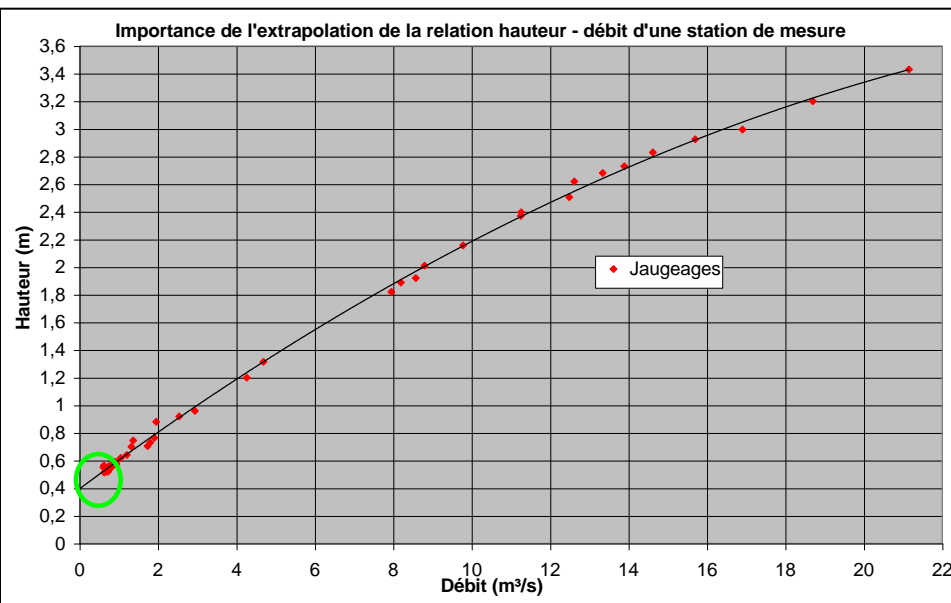
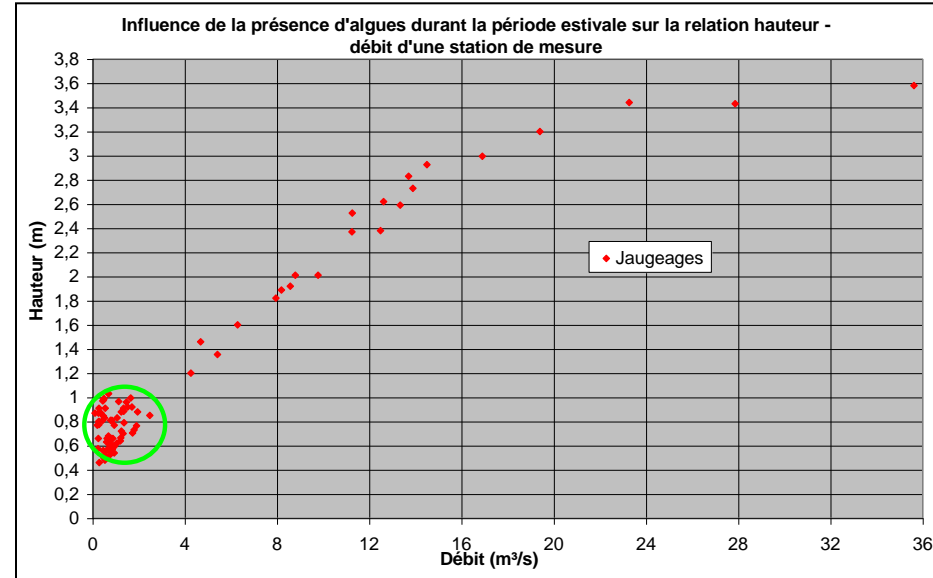
- à l'extrapolation de la courbe de tarage,
- aux perturbations ponctuelles (remplissage d'un étang, ...),
- aux perturbations du débit par les centrales hydro-électriques qui fonctionnent par écluse.

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

3. Sélection des stations de mesure

3.1. Relation Hauteur - Débit

Afin de prévenir tout problème de surestimation des débits caractérisant l'étiage, les stations pour lesquelles un développement de végétation aquatique est observé durant la période estivale seront écartées.



Les stations de mesure retenues ont une faible amplitude de l'extrapolation de la courbe de tarage pour les faibles débits.

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

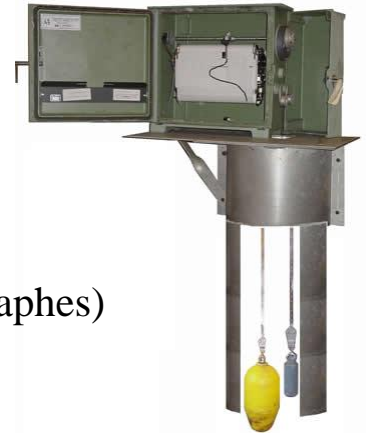
3. Sélection des stations de mesure

3.2. Optimisation de la taille de l'historique des stations de mesure



De l'année 1966 à l'année 1987, le réseau de mesure a compté jusqu'à 208 échelles qui étaient relevées chaque jour à une heure fixe (08h00 du matin) par un lecteur rémunéré par l'administration.

Des jaugeages étaient effectués sur ces sections de mesure, ce qui permet d'obtenir des débits après le calcul des courbes de tarage.



→ Modernisation de certaines échelles en station de mesure automatisée (limnigraphes)

Objectif : Vérifier la possibilité d'utiliser les données issues des échelles afin de permettre, soit l'augmentation du nombre de stations pouvant être utilisées, soit l'élargissement de l'historique de certaines stations de mesure

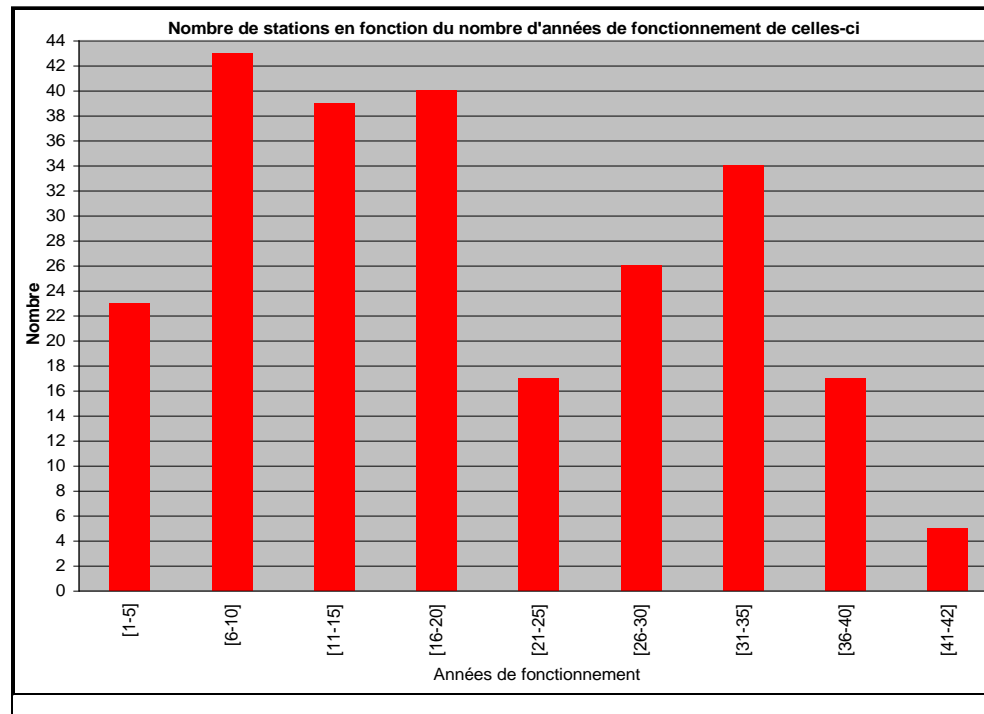
Cette méthodologie permet donc de compléter l'historique de **12** stations de mesure et d'ajouter **17** stations à la liste des stations de mesure dont l'historique était initialement inférieur à 15 ans.

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

3. Sélection des stations de mesure

3.3. Détermination de la durée de l'historique

- La durée minimum de l'historique a été validée à l'aide de tests statistiques car il n'est pas rare de trouver dans la littérature une durée d'historique de 20 ans minimum à prendre en compte pour la caractérisation de l'étiage.
- En Région wallonne, près de 60 % des stations de mesure potentielles ont un historique de données inférieur à 20 ans.



→ **Durée minimale de l'historique = 20 ans**



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

3. Sélection des stations de mesure

3.4. Homogénéité des données

Le test d'homogénéité permet de vérifier que malgré un déplacement de station ou une modification de courbes de tarage par exemples, l'ensemble des débits obtenus fait partie d'une seule population au sens statistique du terme.

→ Test d'égalité des moyennes

N°	Code	Localité	Cours d'eau	Causes d'hétérogénéité
1	77841002	Walcourt (Seuil)	Eau d'heure	Construction des barrages de l'Eau d'Heure
2	81341002	Yvoir	Bocq	Captages en eaux souterraines influençant le débit de base
3	5060	Romedenne	Hermeton	Hauteurs d'eau mesurées incertaines pour les faibles débits
4	5080	Eprave	Lesse	Possibilité de l'influence du Karst (grottes de Han)
5	5201	Rhisnes	Houyoux	Données erronées : hauteurs d'eau à la place de débits
6	5420	Isières	Sille	Nouvelle courbe de tarage (1973-1991)
7	5570	Saint-Martin	Ligne	Suppression des années 1970 et 1989 mais le test reste hétérogène
8	5660	Steenkerque	Senne	Déplacement de la station de l'amont à l'aval de la Brainette
9	5820	Wanze	Mehaigne	Nouvelle courbe de tarage
10	5930	Houffalize	Ourthe Orientale	Gros travaux sur la section du cours d'eau + atterrissement au niveau de l'échelle
11	5950	Erneuville	Ourthe Occidentale	Les années "échelle" correspondent aux étiages sévères
12	5961	Wiers	Verne Blanche	Changement éventuel de gestion par rapport au canal Nimy - Péronne
13	5970	Habay-La-Vieille	Rulles	Suppression années 1991 et 1993 mais le test reste hétérogène
14	6020	Athus	Messancy	Suppression des années 1969 et 1970 anormalement élevées
15	6300	Vieuxville	Ry de Logne	Influence du Karst
16	6310	Forrières	Lhomme	-
17	6380	Olloy-sur-Viroin	Viroin	-

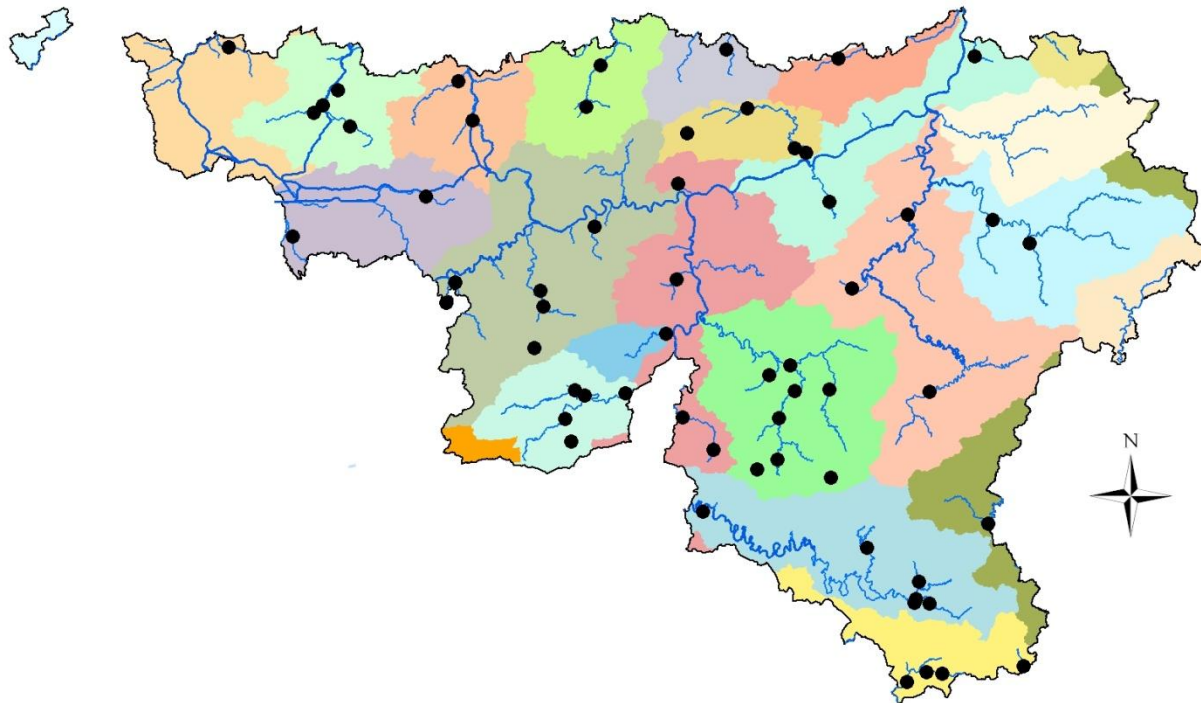
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

3. Sélection des stations de mesure

3.5. Listes des stations définitive

→ Au final : 59 stations réparties sur la Wallonie

Stations de mesures retenues dans le cadre
de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne



0 10 20 40
Kilomètres

ir Sébastien Gailliez
Avril 2012

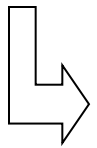
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

4. Analyse fréquentielle des débits d'étiage

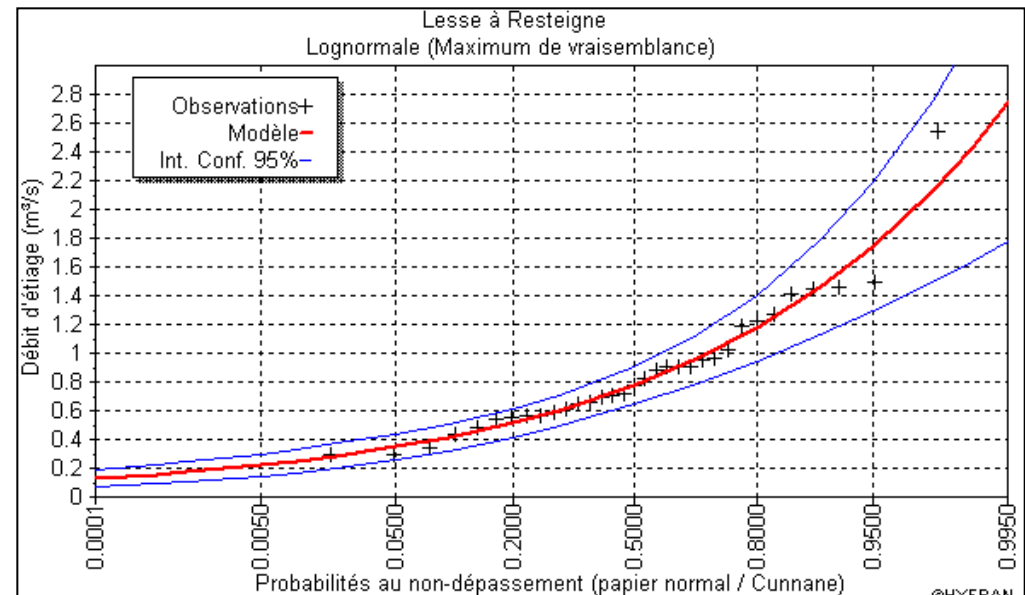
L'analyse fréquentielle des débits d'étiage consiste à ajuster une loi statistique à un échantillon d'observations caractérisant l'étiage dans le but d'estimer une relation entre le débit (Q) de période de retour donnée (T) et la probabilité de non-dépassement qui lui est associée, définie par le rapport $p = 1/T$.

Les différentes lois les plus utilisées dans le cadre de l'analyse des étiages (Hamza, 1999) sont :

- la loi Normale,
- la loi Gamma,
- la loi Pearson,
- la loi Lognormale à deux paramètres,
- la loi des Valeurs extrêmes généralisées (Gumbel, Weibull, Fréchet),

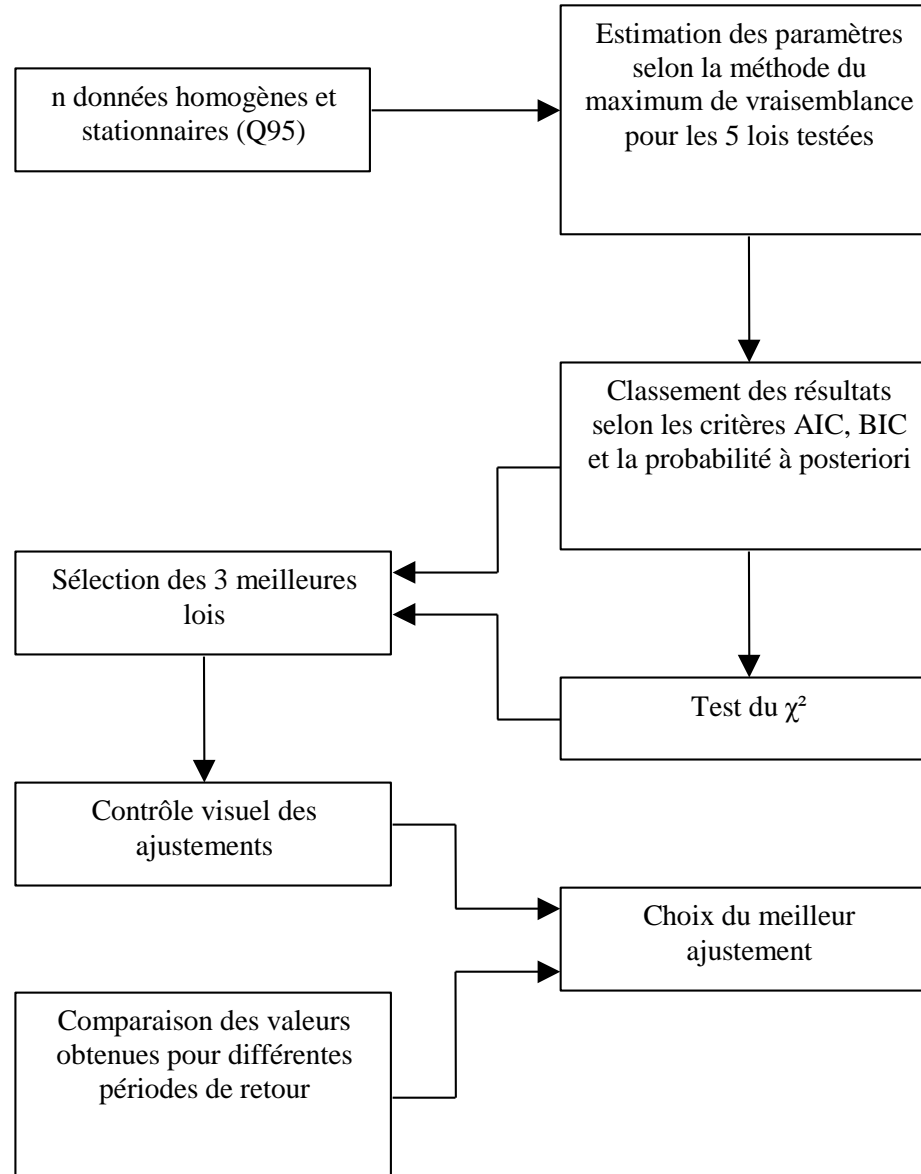


Utilisation du logiciel Hyfran



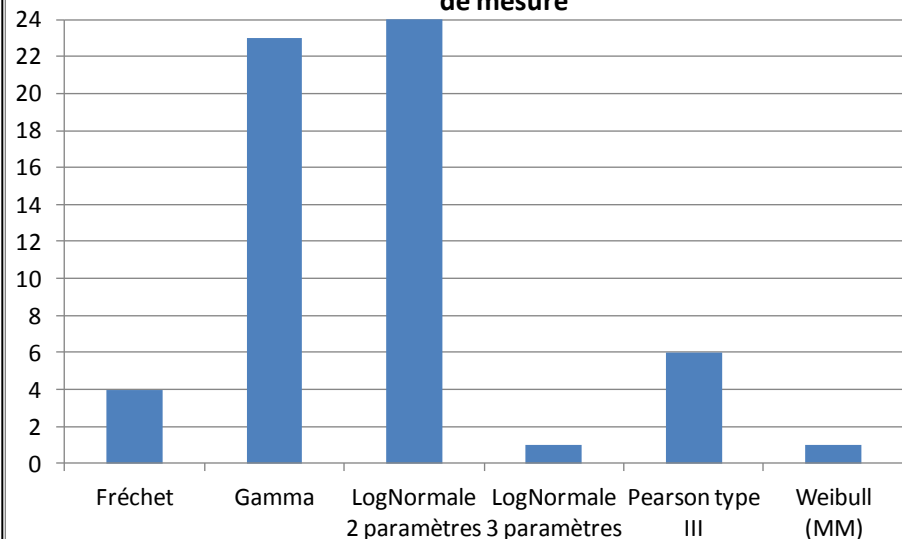
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

4. Analyse fréquentielle des débits d'étiage (méthodologie)

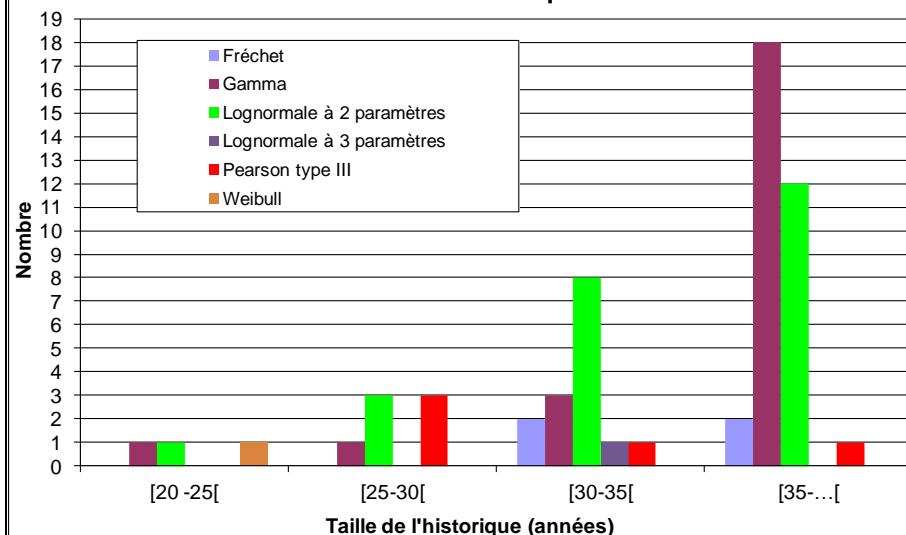


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

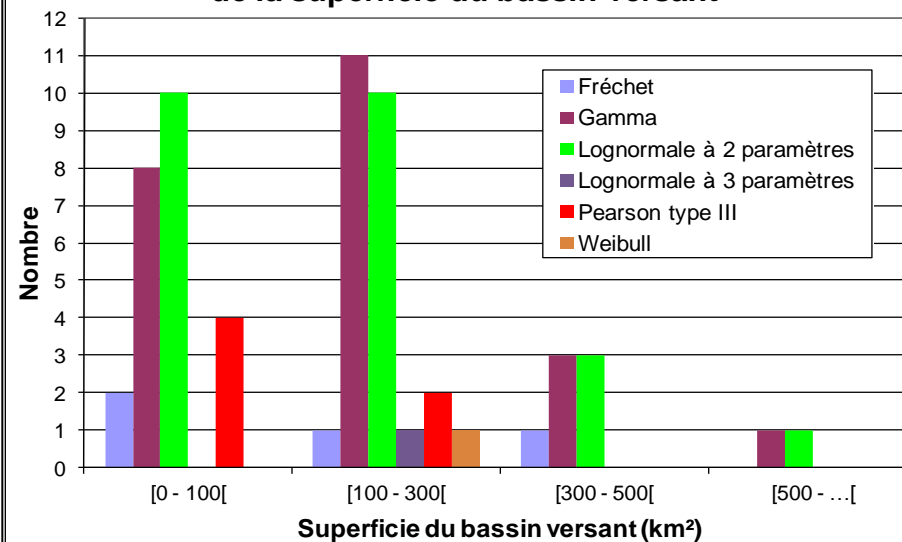
Fréquences des lois retenues pour l'ensemble des stations de mesure



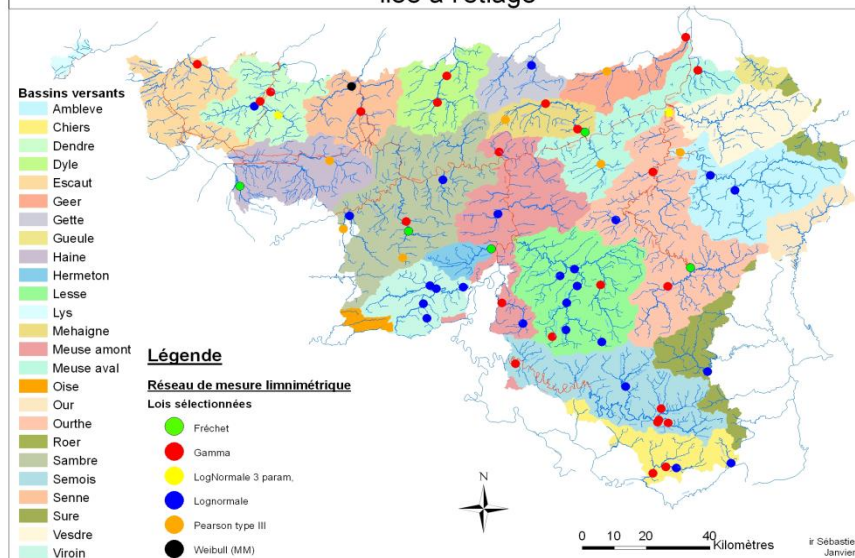
Nombre de stations par type de loi en fonction de la taille de l'historique



Nombre de stations par type de loi en fonction de la superficie du bassin versant



Loi sélectionnée par station de mesures pour l'analyse fréquentielle liée à l'étiage

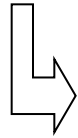




Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage

Objectifs : - Définir des régions homogènes en terme de débit d'étiage
- Établir dans chacune de ces régions, une relation entre les paramètres physiques du bassin versant et le débit caractéristique d'étiage (→ vise à s'affranchir de la nécessité d'un historique de données de débit en tout point pour estimer l'étiage et gérer le cours d'eau)



L'approche permet d'établir plusieurs classes de débits spécifiques qui correspondent soit à un bassin versant, soit à un regroupement de bassins versants appartenant parfois à des districts hydrographiques différents.

Les paramètres utilisés pour définir les zones homogènes sont :

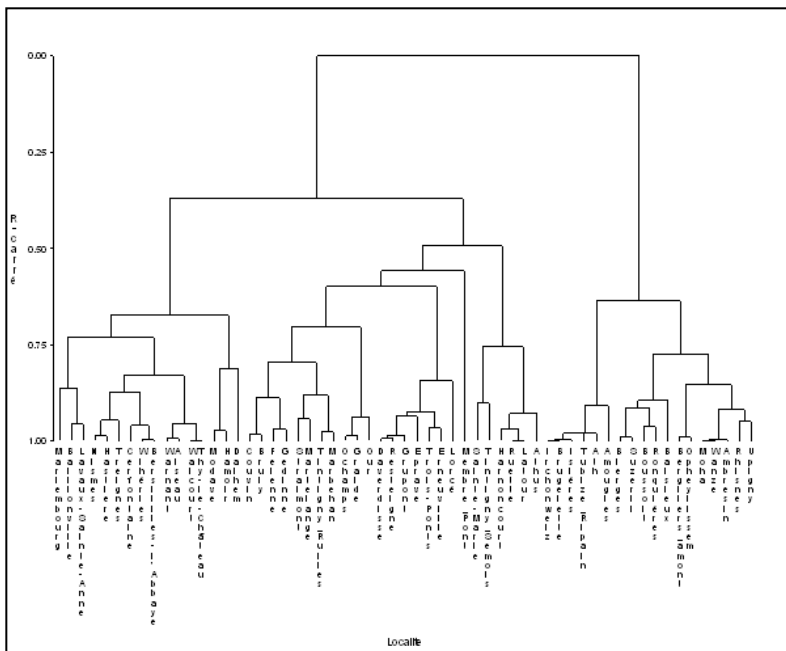
- L'altitude de la station de mesure,
- Coordonnées Lambert,
- Superficie du bassin versant,
- La pente du bassin versant (Percentile10, médiane, Percentile90),
- Densité de drainage,
- L'occupation du sol (terres arables, territoires artificialisés, forêts, surfaces enherbées, cultures permanentes),
- Données climatiques : précipitations et températures,
- L'évapotranspiration,
- La pédologie (Groupes hydrologiques des sols),
- L'hydrogéologie (percolation et coefficient de tarissement).

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage

Méthodologie : La définition des zones homogènes est réalisée à l'aide de la classification numérique qui a pour objectif de subdiviser un ensemble de n individus en un nombre k de groupes. Cette subdivision est réalisée à partir des observations relatives à p variables.

Une analyse en composantes principales est ensuite réalisée afin de permettre une interprétation plus globale des groupes après avoir compris la signification des composantes principales.



Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Représentation par bassin versant

Légende

Zones homogènes :

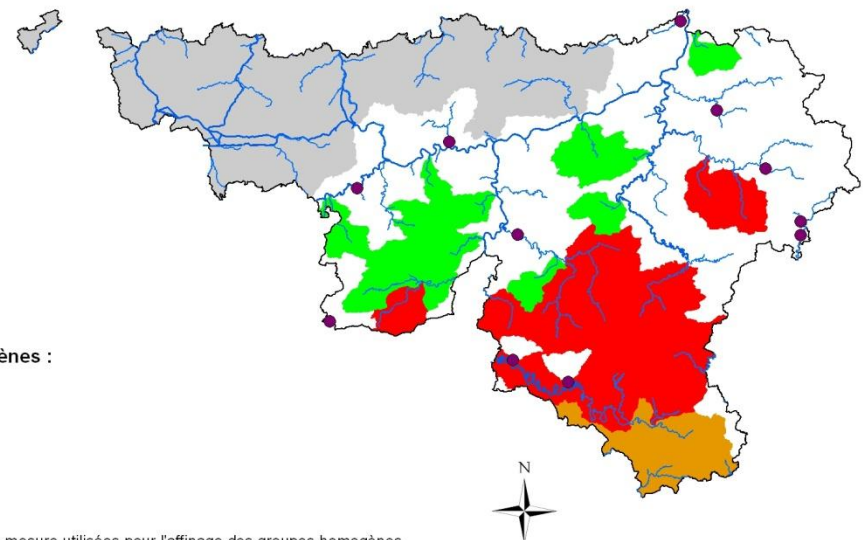
■ Groupe 1

■ Groupe 2

■ Groupe 3

■ Groupe 4

● Stations de mesure utilisées pour l'affinage des groupes homogènes



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage

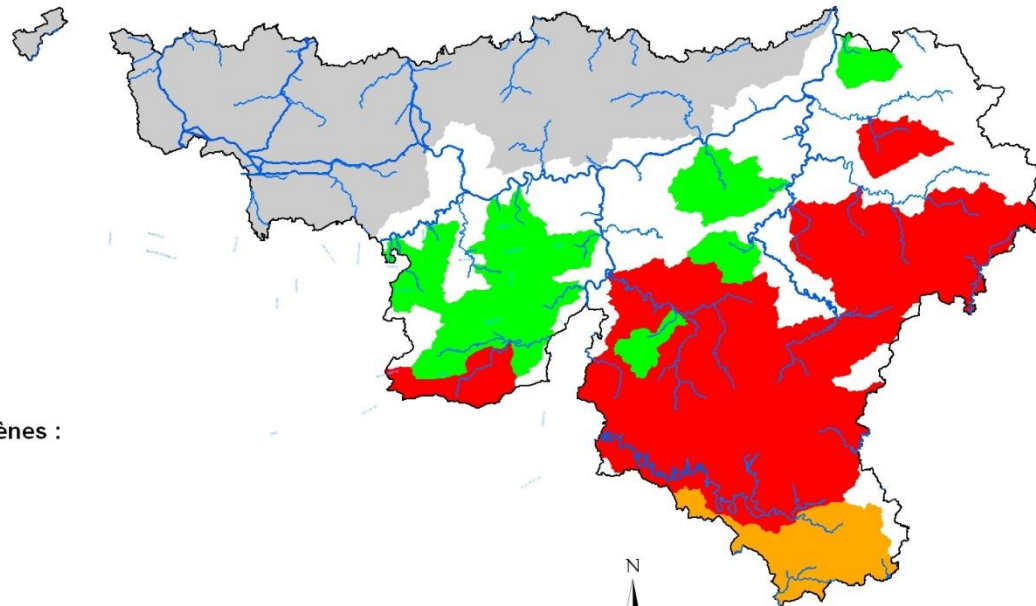
Affinage des résultats : L'objectif est de voir dans quel groupe homogène se retrouve des cours d'eau dont le débit n'est pas perturbé par un élément extérieur (barrage, ...), des parties amonts de certains bassins versants (Amblève, Hoëgne, ...) ou des cours d'eau pour lesquels aucune station de mesure n'a été retenue..

Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Représentation par bassin versant après affinage

Légende

Zones homogènes :

- Groupe 1
- Groupe 2
- Groupe 3
- Groupe 4
- Stations de mesure utilisées pour l'affinage des groupes homogènes



0 10 20 40
Kilomètres

ir Sébastien Gailliez
Avril 2012

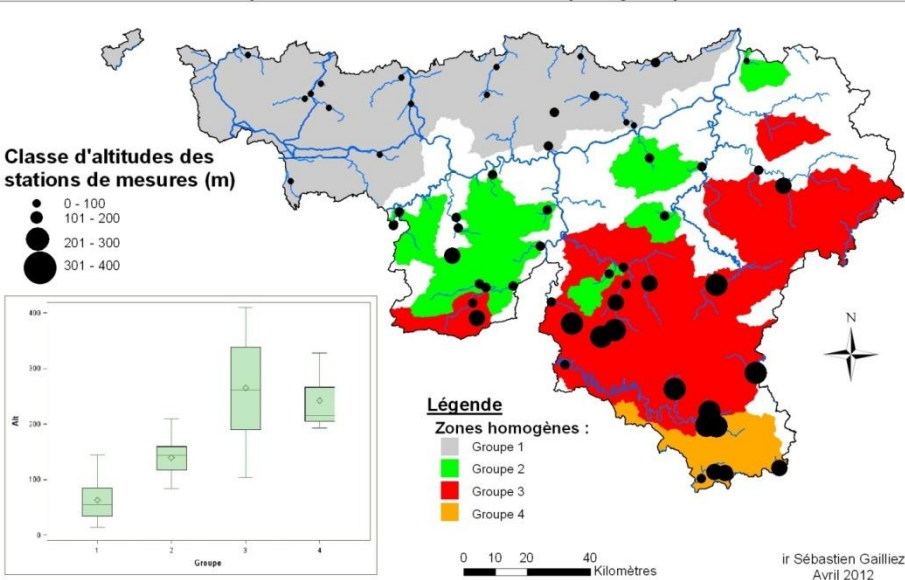
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage

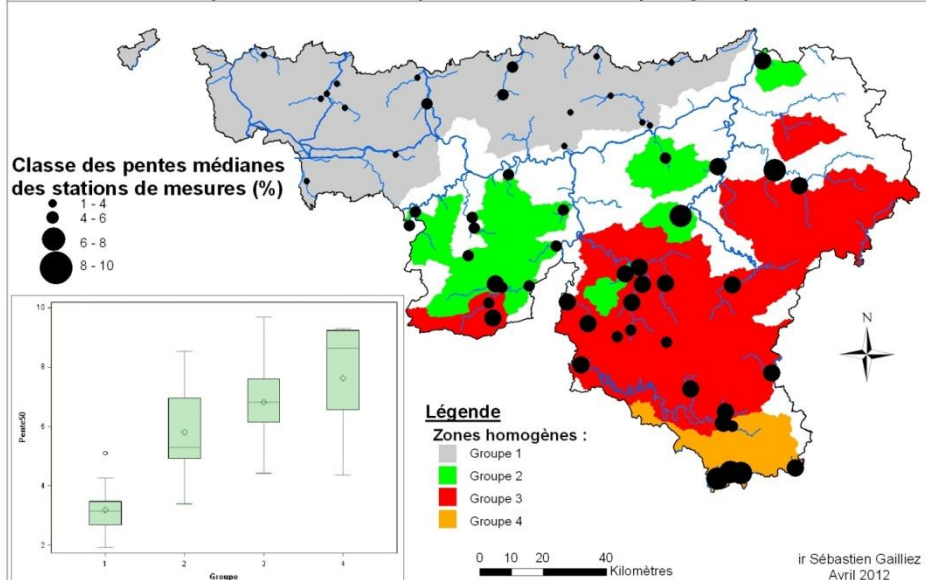
Caractérisation des zones homogènes :

Utilisation des 'Boxplot' qui reprennent : Percentile25, Médiane, Percentile75, moyenne et les valeurs extrêmes

Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des altitudes par groupe

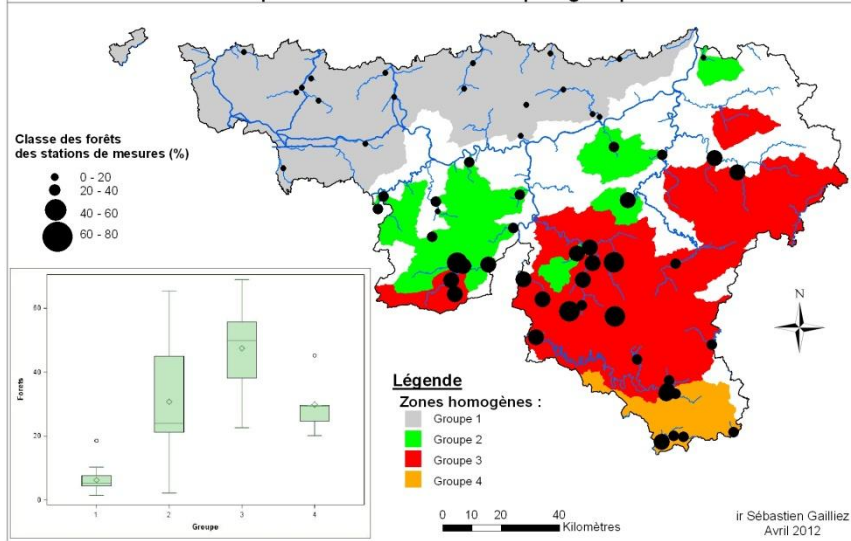


Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des pentes médianes par groupe

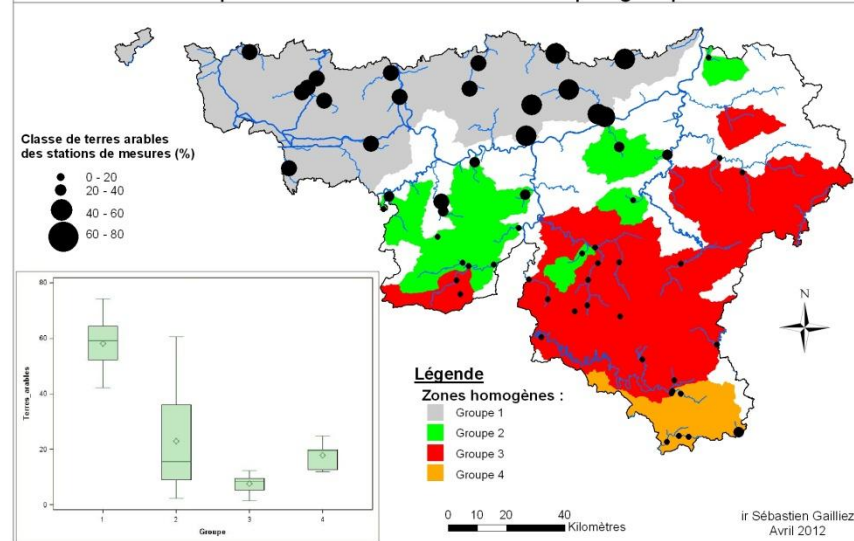


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

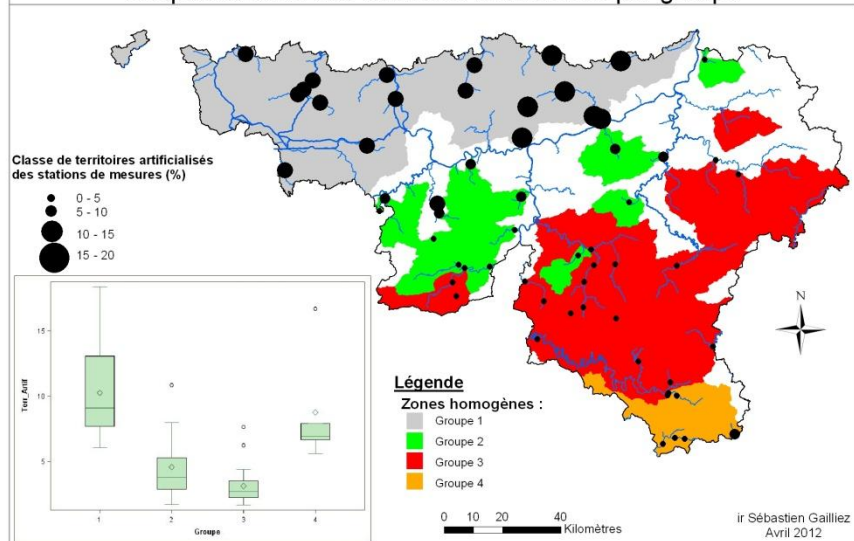
Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des forêts par groupe



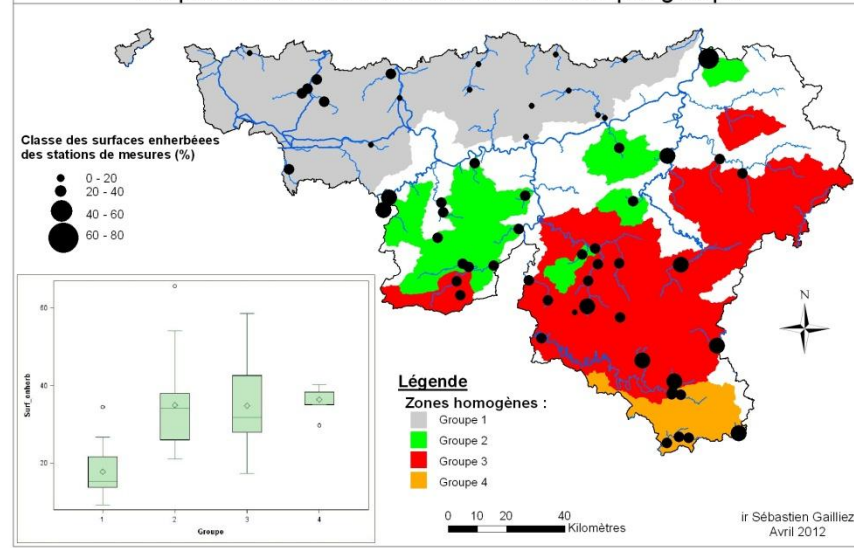
Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des terres arables par groupe



Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des territoires artificialisés par groupe

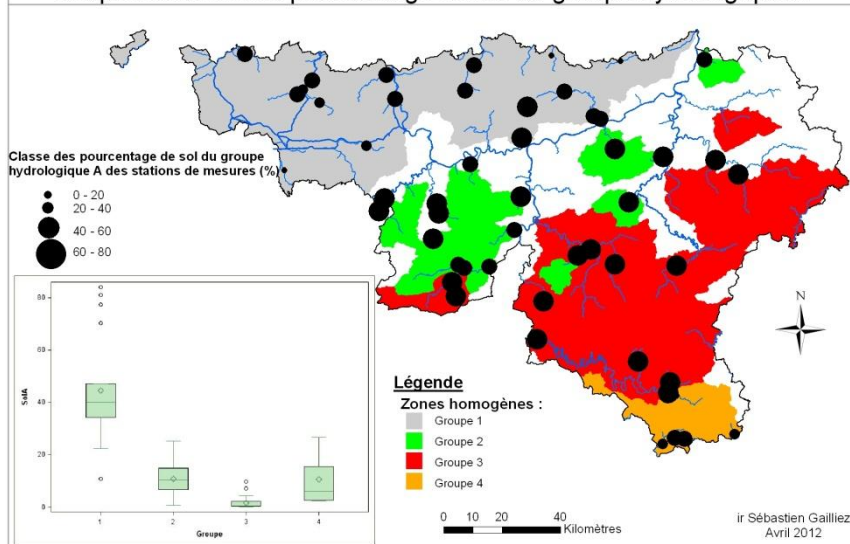


Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des surfaces enherbées par groupe

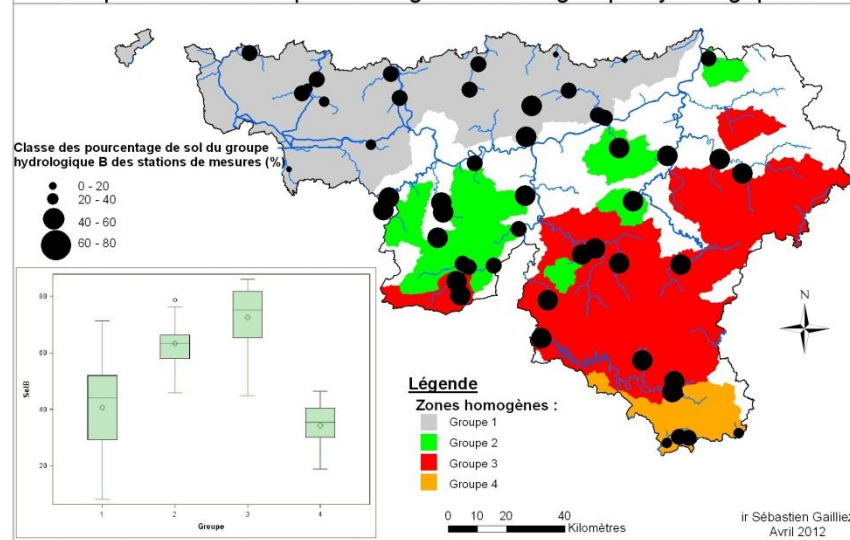


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

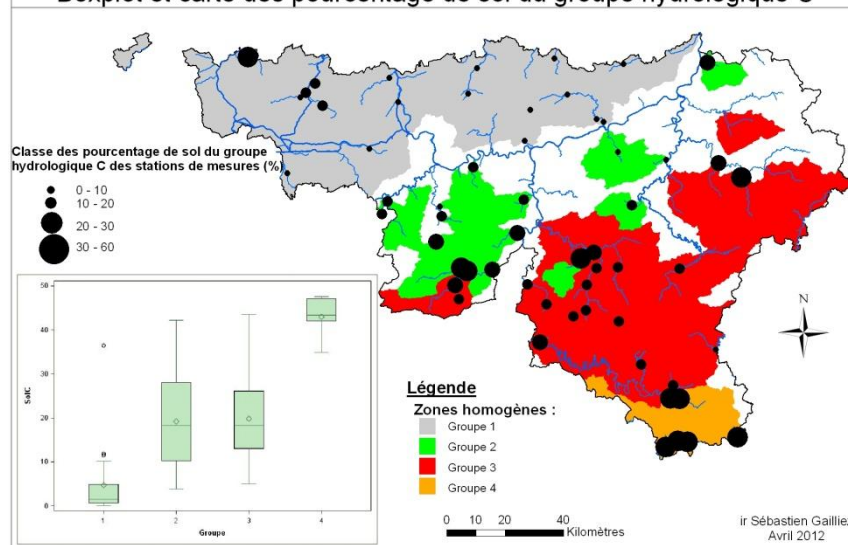
Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des pourcentage de sol du groupe hydrologique A



Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des pourcentage de sol du groupe hydrologique B

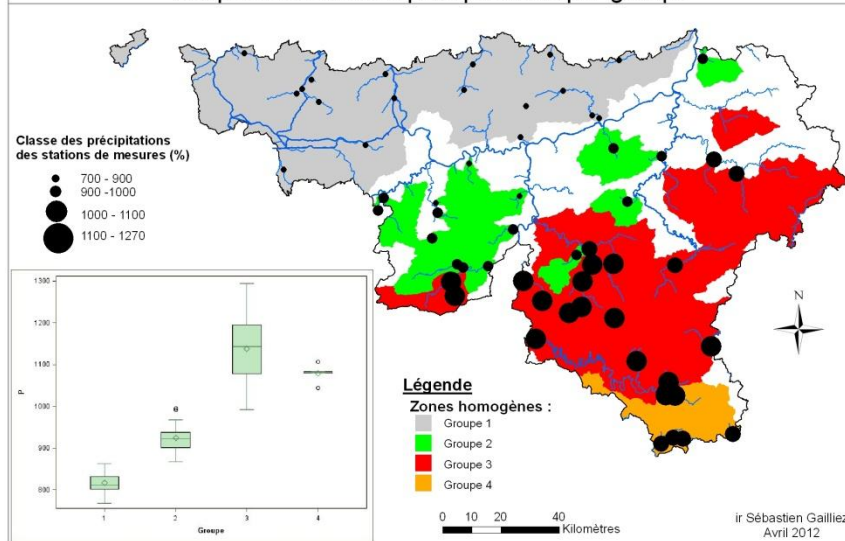


Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des pourcentage de sol du groupe hydrologique C

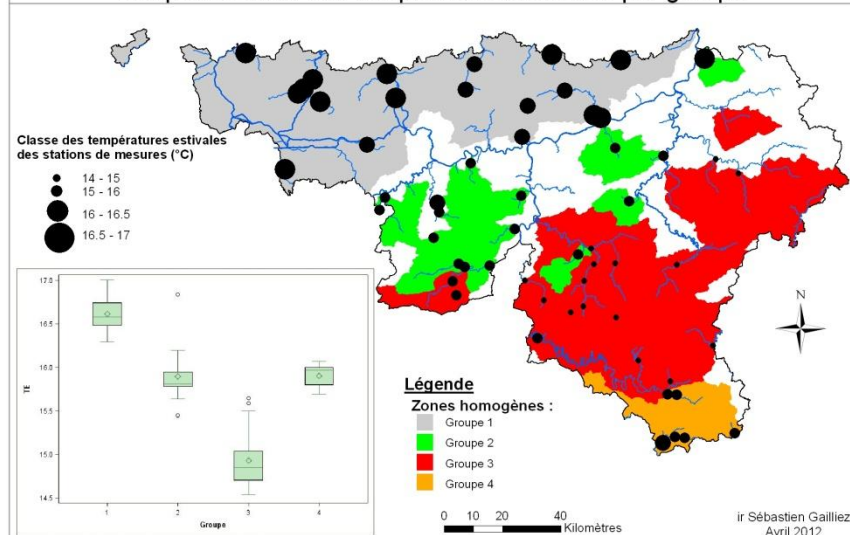


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

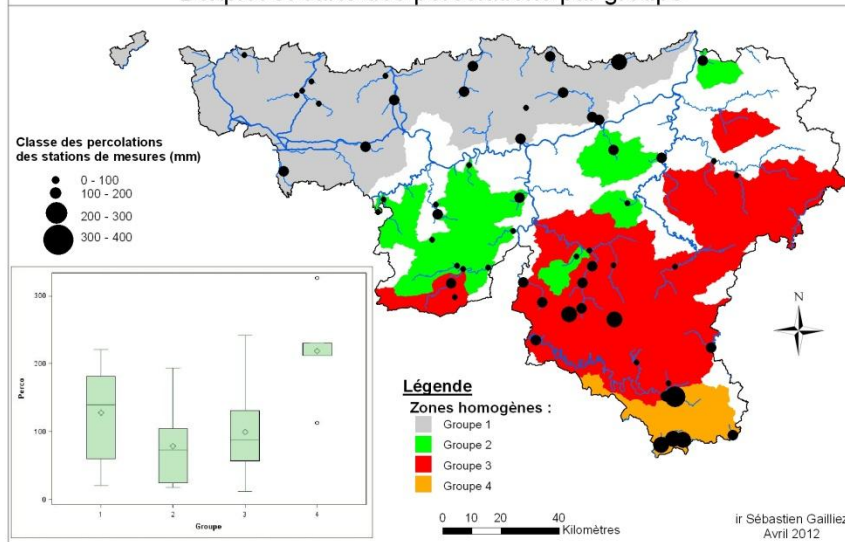
Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des précipitations par groupe



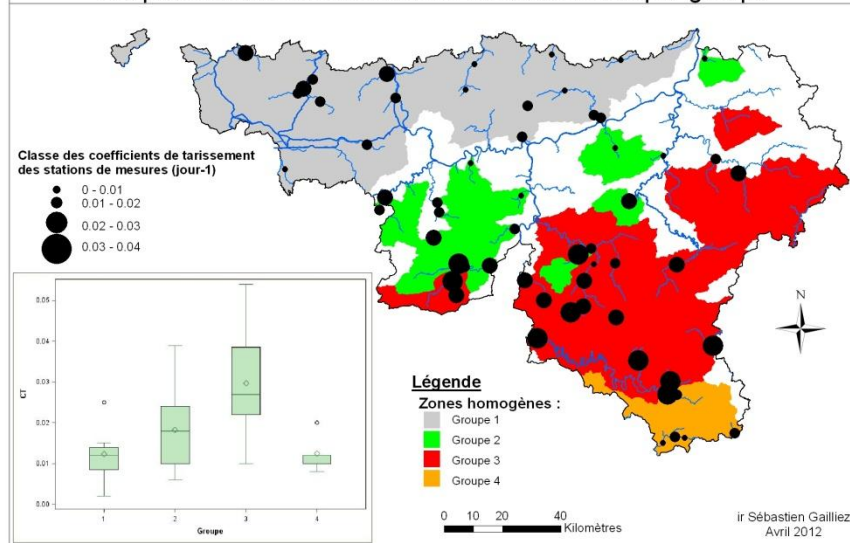
Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des températures estivales par groupe



Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des percolations par groupe



Résultat de la délimitation des zones homogènes en Région wallonne :
Boxplot et carte des coefficients de tarissement par groupe

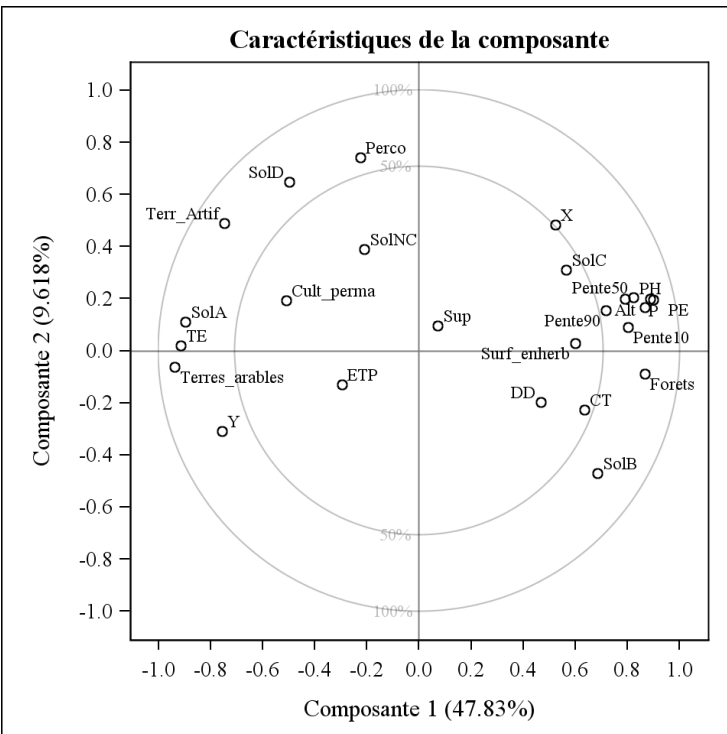


Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage

Analyse en composantes principales :

Utilisation des '**cercles de corrélation**' qui positionnent les variables dans l'espace composantes principales.



Première composante principale est positivement et fortement corrélée à :

- Les précipitations,
- Le pourcentage de forêts,
- Les pentes,
- L'altitude,
- le pourcentage de sol B.

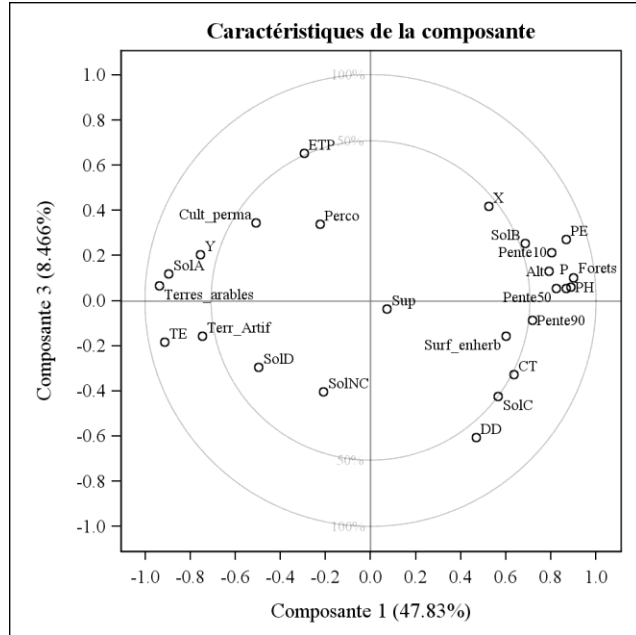
Première composante principale est négativement corrélée aux variables suivantes :

- Le pourcentage de terres arables et de territoires artificialisés,
- Le pourcentage de sol A,
- La température estivale,
- La coordonnée Lambert Y.

Deuxième composante principale est positivement corrélée à la percolation et au pourcentage d'imperméabilisation.

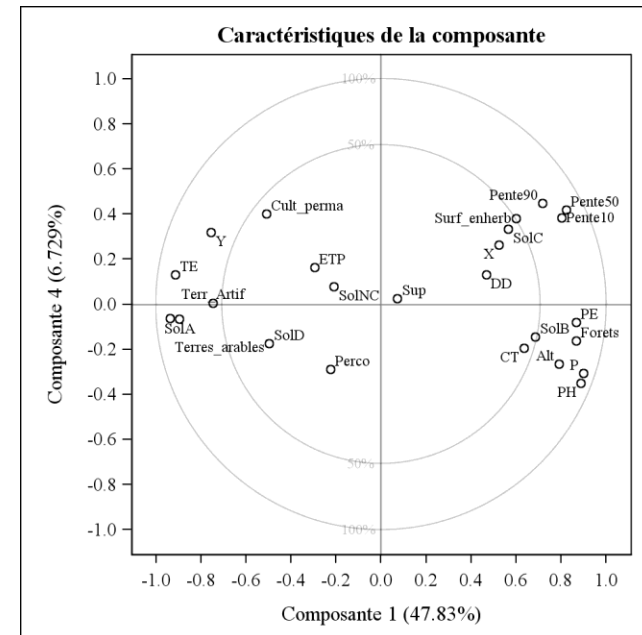
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

5. Régionalisation des débits d'étiage



Troisième composante principale est positivement corrélée à l'évapotranspiration et négativement à la densité de drainage.

Quatrième composante principale est faiblement corrélée positivement aux pourcentages de cultures permanentes, de surfaces enherbées et aux pentes

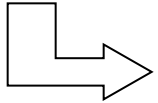




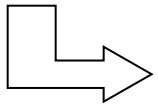
Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

6. Régression

L'objectif de cette partie du travail est d'obtenir pour chaque zone homogène ou pour l'ensemble des bassins versants de la Wallonie, une équation de régression qui permettra à partir d'un ou plusieurs paramètres d'estimer une valeur caractérisant l'étiage en n'importe quel point d'un bassin versant non jaugé.



Tendance : une équation pour l'ensemble de la Wallonie



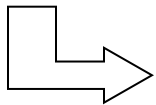
Régression linéaire à plusieurs paramètres

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

7. Utilisation des résultats

==> Caractérisation des étiages sur les cours d'eau de Wallonie :

- Aide à la définition d'un débit réservé en tout point du linéaire d'un cours d'eau.
- Aide à la gestion des cours d'eau :
 - Conception des centrales hydro-électriques,
 - Conservation de l'habitat aquatique,
 - Prélèvements en eaux souterraines,
 - Rejets en eaux usées,
 - Zone de baignade.



Aide à la gestion intégrée des cours d'eau

==> Perspectives : contexte d'adaptation aux changements climatiques

Les modèles météorologiques actuels prévoient des périodes de sécheresse plus prononcée dans nos régions à l'horizon 2100.

Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

8. Conclusion

=> => Les paramètres physiques des bassins versants permettent de donner une estimation du débit caractéristique d'étiage.



Source : Ulg - Philippart, Ovidio



Approche de la régionalisation des débits d'étiage en Région wallonne

Publications : <http://orbi.ulg.ac.be>

www.gembloux.ulg.ac.be/ha

Ir Sébastien Gailliez, SPW, DCENN

081/336383 - sebastien.gailliez@spw.wallonie.be

Pr Dr Ir Aurore Degré, Ulg Gx ABT

081/622187 – aurore.degre@ulg.ac.be